

УДК 551.21 : 550.34

© 1990 г.

Н. А. ЖАРИНОВ, В. И. ГОРЕЛЬЧИК, А. Б. БЕЛОУСОВ,
М. Г. БЕЛОУСОВА, В. Т. ГАРБУЗОВА, Ю. В. ДЕМЯНЧУК,
Е. Ю. ЖДАНОВА

ИЗВЕРЖЕНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ В 1986—1987 гг.

В статье приводятся данные режимных вулканологических, сейсмологических и геодезических наблюдений в районе вулканов Ключевской, Безымянный и Шивелуч за 1986—1987 гг. Рассматриваются различные типы вулканических землетрясений, их связь с извержениями.

THE NORTHERN GROUP VOLCANOES IN KAMCHATKA IN 1986—1987: ERUPTIONS AND SEISMIC REGIME, by Zharinov N. A., Gorel'chik V. I., Belousov A. B., Belousova M. G., Garbuzova V. T., Dem'yanchuk Yu. V., and Zhdanova E. Yu. This paper presents data of routine volcanological, seismological and geodetic observations in the region of Klyuchevskoi, Bezemyannyi and Shiveluch volcanoes in 1986—1987. Various types of volcanic earthquakes as well as their relationship with eruptions are considered.

(Received June 20, 1989)

Institute of Volcanology, Far East Division, USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, USSR

В 1986—1987 гг. извергались три вулкана Северной группы: Ключевской, Безымянный и Шивелуч. Вулканы Плоский Толбачик и Ушковский находились в состоянии фумарольной деятельности.

Вулкан Ключевской

В течение 1986—1987 гг. в вершинном кратере Ключевского¹ вулкана продолжались частые эксплозивно-эффузивные извержения стромболианского и вулкано-стромболианского типов. В конце февраля 1987 г. на юго-восточном склоне вулкана образовался побочный прорыв.

Общая продолжительность эруптивного состояния вулкана в 1986 и 1987 гг. составляла соответственно примерно 25 и 41% времени. В периоды между извержениями в кратере наблюдалась только слабая фумарольная деятельность. Графики изменения во времени высоты эруптивных облаков, выброса бомб и продолжительности излияния лавовых потоков приведены на рис. 1.

Ниже в хронологическом порядке приводится описание активности Ключевского вулкана. Извержения подразделяются на этапы по соотношению эксплозивной и эффузивной деятельности. Даты начала и конца извержений (так же, как и этапов извержений) не всегда могли быть названы однозначно, особенно, когда в нашем распоряжении имелись лишь данные наземных визуальных наблюдений, зачастую неоднородных и прерывистых.

¹ Наблюдения за состоянием вулканов проводились сотрудниками Камчатской вулканостанции Е. Ю. Ждановой, А. Б. Белоусовым, М. Г. Белоусовой.

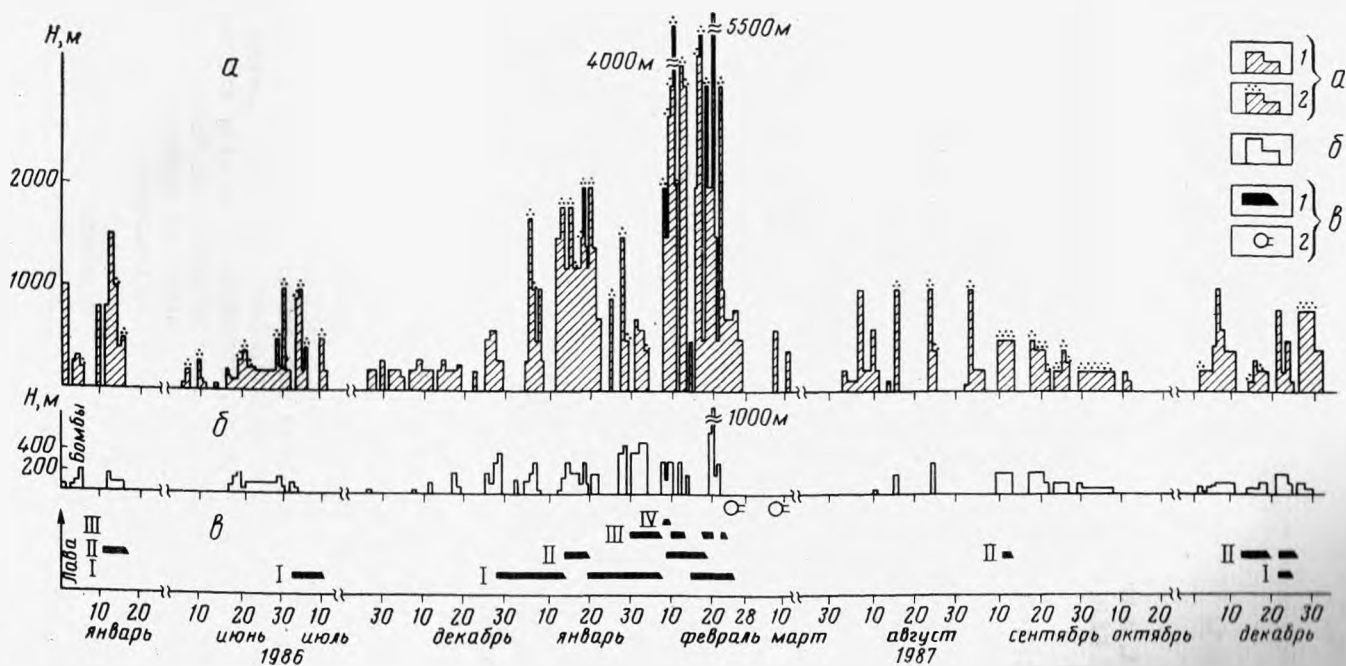


Рис. 1. Характеристики извержений Ключевского вулкана в 1986—1987 гг.: *a* — высота парогазовых (1) и неплонных (2) выбросов по визуальным данным; *б* — высота выбросов вулканических бомб; *в* — продолжительность излияния лавовых потоков (1) по западному (I), северо-западному (II), юго-восточному (III) желобам, северному склону вулкана (IV) и образование побочных прорывов (2)

21 января 1986 г. закончилось терминальное извержение, описание которого дано в работе [2]. После этого наступил период покоя, который продолжался до начала июня.

Вершинное взрывно-эффузивное извержение 6.VI—11.VII.1986 г. В ходе этого слабого извержения выделены три этапа: I — взрывной (с 6 июня по 3 июля); II — взрывно-эффузивный (с 4 по 5 июля) и III — эффузивный (с 6 по 11 июля).

Взрывной этап. Первые признаки извержения были замечены 6 июня. В кратере происходили очень слабые — высотой в первые десятки метров — парагазовые выбросы. Начиная с 7 июня в выбросах появился пепел, высота выбросов возросла до 200—300 м. Иногда наблюдались парагазовые выбросы в виде колец.

18 июня в кратере начались частые выбросы раскаленных бомб. С этого момента деятельность приобрела типичный стромболианский характер. Бомбы выбрасывались из двух жерл на высоту до 100—200 м. Образовалось значительное количество пепла. Высота подъема эруптивного облака составляла 200—400 м, иногда 800 м. Описанный характер активности продолжался до 3 июля.

Взрывно-эффузивный этап. 4 июля началось излияние лавы в западный желоб. Одновременно с эффузивной деятельностью продолжались выбросы бомб из кратера на высоту до 150 м. Высота парагазовых выбросов (иногда с небольшой примесью пепла) достигала 200—400 м.

Эффузивный этап. 5 июля выбросы бомб почти прекратились. Деятельность вулкана приобрела чисто эффузивный характер. Над кратером поднималось только парагазовое облако на высоту до 200 м. 11 июля извержение закончилось. Лавовый поток спустился до отметки 4100 м. В конце извержения в кратере произошло несколько десятков газопепловых выбросов высотой до 500 м.

Период покоя продолжался до конца ноября 1986 г. 25 ноября было отмечено усиление фумарольной деятельности.

Вершинное взрывно-эффузивное извержение 27.XI.1986 г.— 6.III.1987 г. и побочное извержение 23.II—12.III.1987 г. В событиях этого периода выделено три этапа: I — взрывной (с 27 ноября по 28 декабря 1986 г.); II — взрывно-эффузивный (с 29 декабря 1986 г. по 22 февраля 1987 г.) и III — этап побочного извержения (эффузивный) (с 23 февраля по 12 марта).

Взрывной этап. Извержение началось 27 ноября. В кратере происходили слабые парагазовые выбросы на высоту до 200—300 м. Ночью над кратером появлялось пульсирующее зарево. 8 декабря редкие выбросы раскаленных бомб в кратере достигали высоты 100 м. К концу декабря высота парагазовых выбросов возросла до 400—600 м. Высота выбросов бомб увеличилась до 200—300 м, выбросы следовали через 2—10 мин.

Взрывно-эффузивный этап. 29 декабря началось излияние лавы в желоб. Излияние лавы происходило на фоне сильной взрывной активности, которая носила типичный стромболианский характер. В кратере наблюдались выбросы бомб из нескольких жерл на высоту 150—200, иногда 300 м. Эруптивное облако белого цвета, местами с небольшой примесью пепла, поднималось на высоту 1000—1800 м. Период с 8 по 12.I.1987 г. характеризовался ослаблением взрывной деятельности. Выбросы бомб прекратились. Над кратером было видно только слабое пульсирующее зарево. 13 января интенсивная стромболианская деятельность возобновилась. В конце января высота выбросов бомб иногда достигала 400 м, а высота эруптивной колонны — 1,5—2 км.

Весь январь продолжалась интенсивная эффузивная деятельность. Лава изливалась преимущественно в западный желоб, где мощные лавовые потоки спускались до отметки 3500 м. С 15 по 20 января лава

изливалась в северо-западный желоб, лавовый поток достиг отметки 3700 м.

В феврале относительно ровная стромболианская деятельность сменялась сильной стромболианско-вулканской, которая продолжалась до 22 февраля 1987 г. Характерной чертой февральской активности, начиная с 7 февраля, было чередование периодов резкого усиления эксплозивной и эффузивной деятельности продолжительностью в несколько часов и периодов заметного ослабления, а иногда почти полного прекращения вулканической активности. В моменты усилений высота эруптивной колонны быстро увеличивалась от 1—2 до 3—4 км, одновременно резко возрастало количество пепла, усиливалась также эффузивная деятельность.

В ночь на 19 февраля высота выбросов пирокластического материала достигала 800 м при частоте 16 мин, отдельные бомбы поднимались на высоту 1,5 км над кромкой кратера, раскаленный пирокластический материал выбрасывался взрывами за пределы кратера, на склоны вулкана.

19 февраля в 9 ч. 30 мин. по местному времени наблюдалось ослабление эксплозивной деятельности вулкана, газопепловые выбросы достигали высоты 1,5 км над кромкой кратера. С 13 ч. 30 мин. активность центрального кратера вновь стала расти, газопепловая колонна поднялась на высоту 4,5 км над уровнем кратера, пепловые выбросы достигали высоты 1,5—2 км, верхняя часть эруптивной колонны расплылась горизонтальной наэлектризованной тучей дискообразной формы, площадью около 400 км². На расстоянии 15 км от кратера был слышен сильный непрерывный гул. К 17 ч. вечера высота вертикальной части газопеплового столба достигла 5,5 км над уровнем кратера (рис. 2). Величина расхода пирокластического материала в кульминационный момент извержения составила 100 т/с.

В феврале лавовые потоки попеременно изливались во все три желоба: западный, северо-западный и юго-восточный. 9 февраля небольшой лавовый поток излился на северный склон вулкана между северо-западным и юго-восточным желобами.

Излияние лавы вызвало бурную фреатическую деятельность в трех желобах вулкана; абсолютная высота подъема фреатических облаков достигала 5 км и более. Продвижение лавы по ледовому панцирю вулкана сопровождалось образованием грязевых потоков, спускавшихся до абсолютных отметок 1—2 км над уровнем моря.

Этап побочного прорыва. 23—24 февраля на юго-восточном склоне вулкана на высоте 3570 м образовалась радиальная трещина, из которой спокойно излился лавовый поток длиной около 1 км (рис. 3). 6 марта одновременно с излиянием лавы из первой трещины ниже по склону, на высоте 3000—2000 м, раскрылась вторая трещина, и небольшая порция лавы излилась под ледник Шмидта (перевал между вулканом Ключевской и потухшим вулканом Камень). В момент образования первой боковой трещины 22—23 февраля эксплозивная активность вершинного кратера несколько снизилась (наблюдались газопепловые выбросы высотой 200—1000 м), излияние лавы из кратера по юго-восточному желобу продолжалось до 25 февраля. Движение лавовых потоков из обеих побочных трещин продолжалось несколько дней. К 13 марта побочное извержение прекратилось. Одновременно прекратилась заметная эксплозивная деятельность центрального кратера.

Вулкан находился в состоянии покоя до конца июля 1987 г. В этот период (по-видимому, в основном в первой половине июня) на вершине внутрикратерного шлакового конуса образовался колодеобразный провал диаметром около 200 м.

Вершинное эксплозивно-эффузивное извержение 28.VII—11.X.1987 г. носило в основном стромболианский характер. Продукты этого извер-

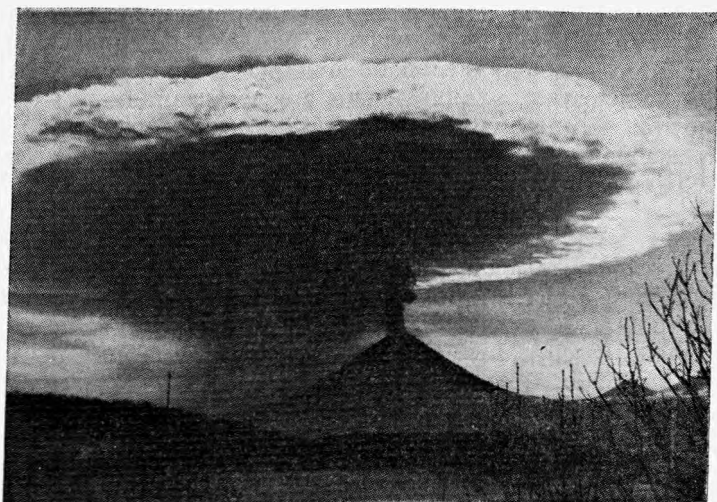


Рис. 2. Активность Ключевского вулкана 19 февраля 1987 г. Высота эруптивной колонны 5,5 км. Вид с севера из г. Ключи. Фото А. Б. Белоусова



Рис. 3. Лавовый поток побочного прорыва на юго-восточном склоне Ключевского вулкана 25 февраля 1987 г. Фото А. Б. Белоусова

жения заполнили колодезобразный провал, и, вероятно, поэтому лава на склоны вулкана почти не излилась.

Начало извержения было замечено 28 июля. До 10 августа над кратером наблюдались только пульсирующее зарево и слабая парогазовая деятельность. Начиная с 10 августа в кратере стали наблюдаться выбросы бомб из 2–5 жерл на высоту 200–300 м. Высота парогазовых выбросов составляла 400–1000 м. Иногда в выбросах появлялся пепел. В кон-

це августа наблюдалось ослабление активности. Утром 2 сентября в кратере произошло несколько десятков пепловых выбросов высотой до 1 км, после чего извержение возобновилось в прежнем режиме. 11—12 сентября произошло излияние лавы в северо-западный желоб. Длина лавового потока не превысила 700 м. В конце сентября — начале октября 1987 г. интенсивность извержения стала постепенно ослабевать, и 11 октября извержение прекратилось. Период покоя продолжался до 30 ноября 1987 г.

Вершинное эксплозивно-эффузивное извержение 1—31.XII. 1987 г. За серией пепловых выбросов последовала деятельность типично Strombolianского характера. Парогазовое эруптивное облако поднялось на высоту 200—800 м. Иногда в выбросах в незначительном количестве появлялся пепел. Высота выбросов бомб составляла около 100 м. 13—26 декабря произошло излияние лавы в северо-западный желоб, 21—23 декабря — в западный желоб. Эффузивная деятельность была очень слабой, длина лавовых потоков не превышала 300—400 м. 26—28 декабря в кратере происходили отдельные пепловые выбросы на высоту 400—800 м. 29—31 декабря началось ослабление вулканической деятельности. Но затем вершинное извержение продолжилось в 1988 г. Его описание будет дано в следующем сообщении.

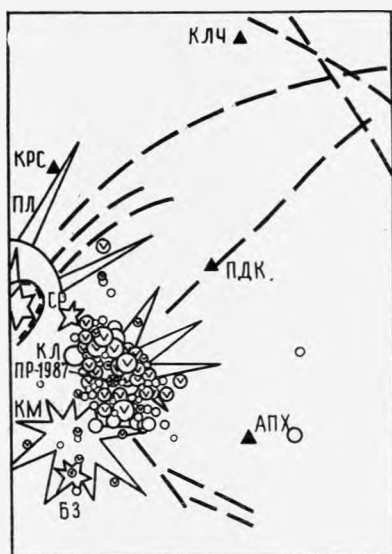
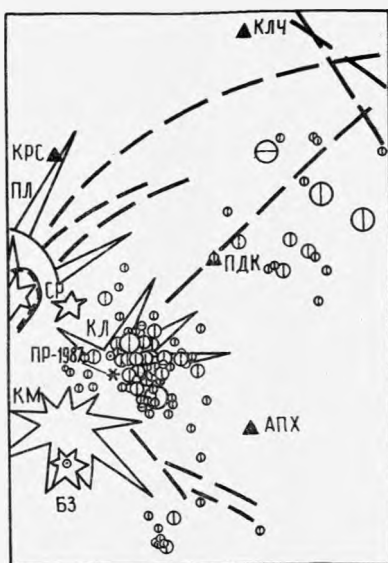
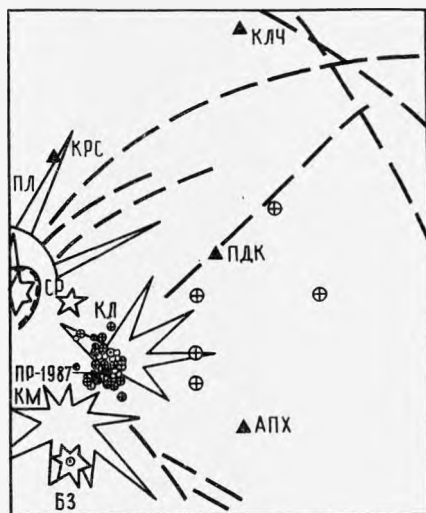
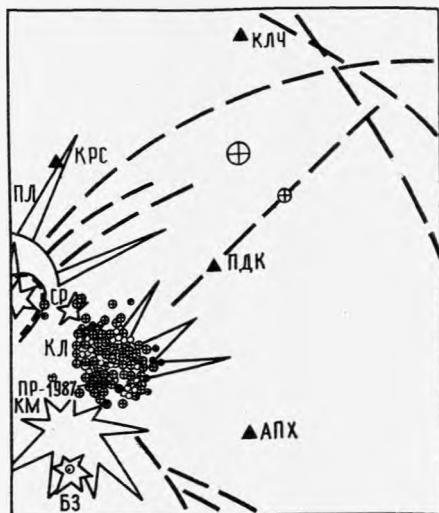
В целом, как было отмечено [6], несмотря на достаточно сильные извержения последних лет, в 1983—1987 гг. в питающей системе Ключевского вулкана происходило накопление магмы.

Сейсмичность². В 1986—1987 гг., как и в предыдущие годы [3, 6], сейсмическая активность Ключевского вулкана, связанная с его вершинными и побочными извержениями, проявлялась в сейсмоактивной зоне вокруг центрального кратера. Послойные карты эпицентров землетрясений, происходивших в 1986—1987 гг. в районе Ключевского и Безымянного вулканов, приведены на рис. 4. Интервалы глубин для карт выбирались с учетом особенностей пространственного размещения эпицентров относительно вершинного кратера Ключевского вулкана. Как видно из рис. 4, в 1986—1987 гг. сейсмическая активность под Ключевским вулканом захватывала все горизонты земной коры, от самого конуса до глубин ~40 км. Наибольшая плотность эпицентров наблюдалась на глубинах менее 5 км и 25 и более (до 30 км). В интервале глубин 5—20 км вокруг вершинного кратера просматривалась свободная от землетрясений область, диаметр которой в направлении с запада на восток составлял около 3 км, т. е. формально не превышал ошибку определения эпицентров.

Подобная картина распределения землетрясений сохраняется, по данным в течение более длительного (1971—1985 гг.) срока наблюдений [6], и свидетельствует о том, что небольшая в плане, но достаточно протяженная по глубине (приблизительно от 5 до 20 км) асейсмичная область под вершинным кратером Ключевского вулкана, по-видимому, действительно существует.

Глубже 20 км, в нижних горизонтах земной коры (см. рис. 4), сейсмическая активность под Ключевским вулканом сконцентрирована в довольно локальной зоне диаметром ~6 км. В ней происходят группы и рои землетрясений в основном слабее 7-го энергетического класса, очень схожие между собой по характеру записи. Продолжительность групп и роев от нескольких часов до нескольких месяцев. Наибольшее количество землетрясений в этой зоне было зарегистрировано в мае — декабре 1986 г., во время перерыва между сильными вершинными извержениями конца 1985 — начала 1986 г. и конца 1986 — начала 1987 г.

² Обработка сейсмологических данных проводилась В. Т. Гарбузовой, Г. И. Райт, Е. В. Степановой, В. И. Левиной, А. Г. Жариновой под руководством В. И. Горельчик.

$H < 5 \text{ км}$

 $5 \text{ км} \leq H < 20 \text{ км}$

 $20 \text{ км} \leq H < 25 \text{ км}$

 $25 \text{ км} \leq H < 40 \text{ км}$


Энергетический класс

 $K = \lg E_{\text{Дж}}$

○ < 6 ○ 6 ○ 7 ○ 8 ○ 9



0 3 6 9 км

Глубина очага, км

○ < 0 ○ 5 ÷ 9 ○ 20 ÷ 29
○ 0 ÷ 4 ○ 10 ÷ 19 ● 30 ÷ 39

Рис. 4. Послойные карты эпицентров землетрясений в районе Ключевского и Безымянного вулканов в 1986—1987 гг. 1 — действующие вулканы: КЛ — Ключевской; БЗ — Безымянный; 2 — потухшие вулканы: ПЛ — Ближний Плоский (Крестовский); СР — Средний; КМ — Камень; 3 — кальдера вулкана Ближний Плоский (Крестовский); 4 — центры побочного извержения 1987 г.; 5 — предполагаемые тектонические нарушения; 6 — сейсмостанции

Распределение во времени числа и энергии землетрясений I ($H \geq 5$ км) и II–III ($H < 5$ км) типов [5] в сейсмоактивной зоне под Ключевским вулканом в 1986–1987 гг. происходило по наблюдавшейся ранее [6] схеме: во время активизации вулкана преобладающее количество землетрясений возникало в постройке вулкана, а в перерывах между извержениями — на глубинах 5–30 км; при этом, как правило, по мере приближения извержения сейсмическая активность с глубин 25–30 км перемещалась на более высокие уровни земной коры (10–15 км) и максимальный энергетический класс увеличивался до 7,5 и более (рис. 5, а, б). Наиболее заметно это проявилось в 1985–1987 гг.

28 июня 1987 г. в 10 ч. 30 мин. по Гринвичскому времени в 6 км к юго-востоку от вершинного кратера на глубине ~ 15 км были зарегистрированы землетрясения с $K_s = 9,2$ и четыре более слабых толчка. Приблизительно тогда же над кратером было замечено пульсирующее зарево (начало вершинного извержения) появилось вулканическое дрожание, а в дальнейшем — землетрясения в постройке вулкана (см. рис. 5). В отличие от предыдущих лет, в 1986–1987 гг. значительно возросло количество землетрясений с глубиной очага более 5 км, которые продолжались и после начала вершинных извержений. По-видимому, это обусловлено главным образом возросшей потенциальной активностью вулкана, в питающей системе которого, несмотря на извержения 1983–1987 гг., накапливалась магма [6], а отчасти — уже упоминавшейся выше неопределенностью в разделении по времени периодов извержения и покоя (с увеличением продолжительности «активных» периодов в состоянии вулкана в последние годы эта неопределенность также возросла).

Вершинные извержения Ключевского вулкана, как и прежде, сопровождался роями землетрясений на глубинах менее 5 км, непрерывным вулканическим дрожанием и взрывными землетрясениями (см. рис. 5).

Наиболее значительные рои поверхностных землетрясений наблюдались в прикратерной зоне в 1987 г.: 20.II–6.III; 24.VIII–1.IX; 28.XII; 1987–8.I.1988 г. Рой 20.II–6.III предвещал образование центров побочного извержения на юго-восточном склоне вулкана.

Низкочастотное вулканическое дрожание (в.д.) регистрировалось на всех этапах извержений, отражая в общих чертах их характер и интенсивность. Усиление стромболианской активности вершинного кратера (увеличение высоты выбросов раскаленных бомб), а также интенсивная эксплозивно-эффузивная деятельность вулкана сопровождалась увеличением амплитуды в.д. (июнь — июль 1986 г.; декабрь 1986 — январь 1987 г., см. рис. 5). Изменение в режиме вершинного извержения в феврале 1987 г., когда после сравнительно ровной стромболианской и эффузивной деятельности началось чередование периодов ослабления и резкого усиления стромболианско-вулканской и лавовой активности, отразилось на ходе низкочастотного в.д. С 7 по 22 февраля изменение средней и максимальной амплитуд в.д. приобрело пульсирующий характер (средняя амплитуда изменялась от 0,3–0,4 до 3–4 мкм, максимальная — от 3–4 до 13–14 мкм, см. рис. 5).

На фоне отмеченных изменений в режиме извержения и в.д. 20.II 1987 г. началась сейсмическая подготовка побочного прорыва Предвиденного. Развитие предвещающего роя 20.II–6.III подробно описано В. И. Горельчик в работе [6]. Как видно на рис. 6, эпицентральная область роя была вытянута с северо-запада на юго-восток, в этом же направлении 20–22.II наблюдалось смещение эпицентров землетрясений накануне образования 23.II первой эруптивной трещины на юго-восточном склоне Ключевского вулкана. При этом не было обнаружено какой-либо тенденции в изменении глубины очагов, варьировавшей от 3 км ниже до 3 км выше уровня моря. Отмеченные особенности пространственно-временного развития роя землетрясений 20.II–6.III.1987 г.

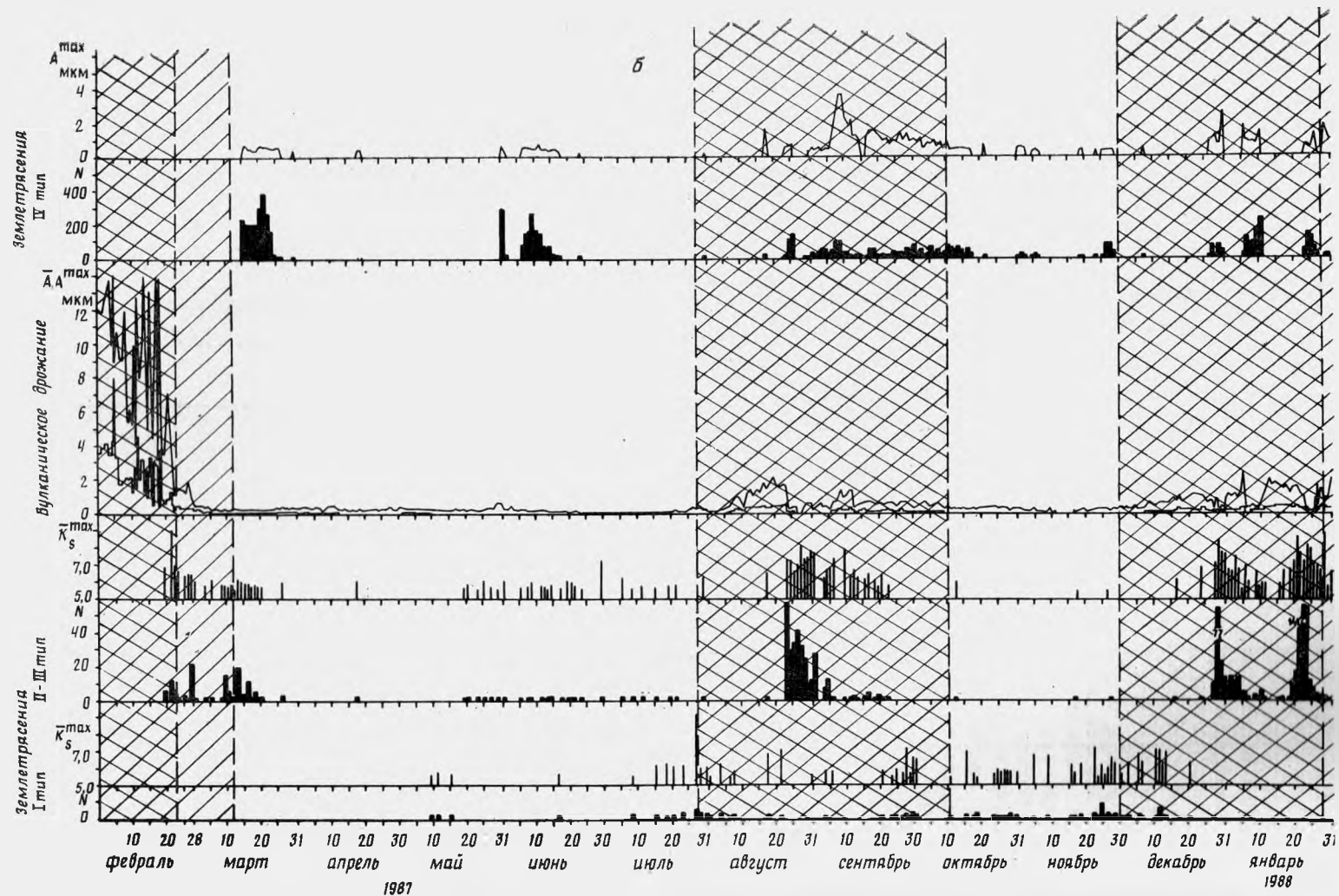


Рис. 56

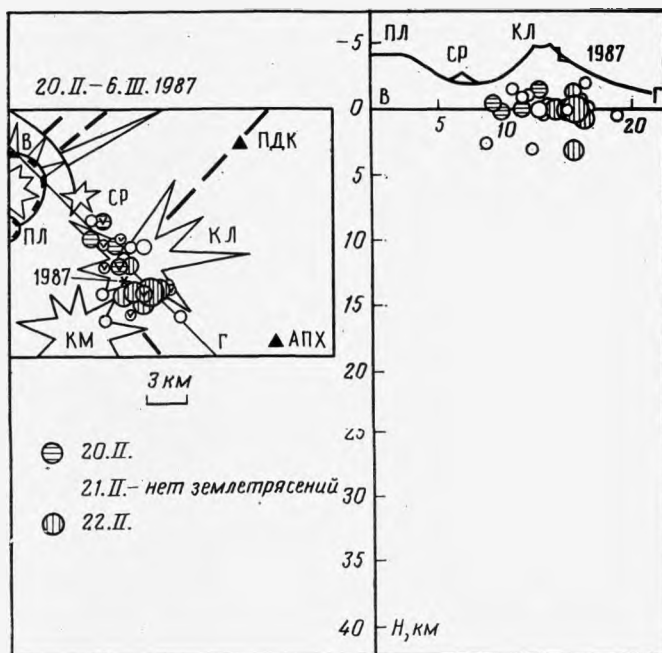


Рис. 6. Карта эпицентров роя землетрясений 20.II—6.III. 1987 г., предварявшего образование 23.II—первой и 6.III—второй трещин побочного прорыва Предвиденный. Условные обозначения см. на рис. 4

позволяют говорить о сходстве сейсмических подготовок прорыва Предвиденного и прорыва им. 8 Марта в 1980 г. [9].

Взрывные землетрясения (IV тип, по классификации П. И. Токарева) регистрировались на Ключевском вулкане (см. два верхних графика на рис. 5) не только (и не столько) в наиболее активные фазы вершинных извержений (в это время любые землетрясения невозможно выделить из-за высокого уровня в.д.), но главным образом после окончания извержений, вернее, после того, как прекращалась заметная активность вершинного кратера. Судя по рис. 5, в первые недели, а иногда и месяцы, после исчезновения явных признаков извержения (выброса бомб, прекращения движения лавовых потоков на склонах и т. д.) в центральном кратере продолжалась взрывная деятельность, но взрывы в кратере, по-видимому, происходили на относительно большей глубине, вследствие чего они лучше регистрировались сейсмологической аппаратурой, хотя и не были замечены при визуальных наблюдениях.

Геодезические наблюдения³. В 1985—1987 гг. на Ключевском вулкане высокоточное нивелирование выполнялось по двум профилям, расположенным по радиусам к вулкану. Профиль I имеет азимут 45°, основная часть этого профиля проходит вдоль руч. Киргурич. Ближайший к кратеру Ключевского вулкана репер на этом профиле расположен на высоте

³ Геодезические наблюдения выполнены Н. А. Жариновым и Ю. В. Демянчуком под руководством Н. А. Жаринова.

Рис. 5. Суточные изменения характеристик сейсмической активности Ключевского вулкана в 1986—1.1987 (а) и 1987 (б) гг. по данным сейсмостанции АПХ. Снизу вверх: графики изменения числа N и максимального энергетического класса вулканических землетрясений I и II—III типов, средней A и максимальной A^{\max} амплитуд вулканического дрожания, числа N и максимальной амплитуды A^{\max} вулканических землетрясений IV типа. 1—продолжительность вершинных извержений с излиянием лавы на склоны вулкана; 2—продолжительность побочных извержений

1150 м на расстоянии 11,5 км от кратера. Профиль II имеет азимут 135°. Профиль проходит вдоль дороги на сейсмическую станцию Апахончич. Ближайший к кратеру вулкана репер на профиле II расположен на высоте 750 м над уровнем моря.

Общий характер вертикальных смещений, зарегистрированных на профиле I, соответствует подъему склона вулкана с 1985 по 1986 г. Амплитуда смещения близка ~ 50 мм. За 1986–1987 гг. значительных смещений (по сравнению с 1980–1985 гг.) на профиле I не зарегистрировано. На профиле II с 1985 по 1986 г. также наблюдался подъем склона, но меньший по величине, чем на профиле I (~ 10 мм). В 1987 г.

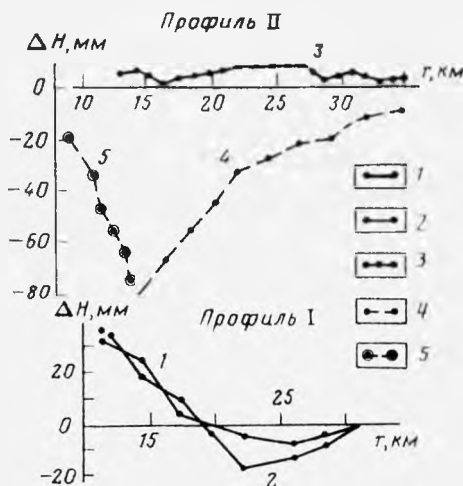


Рис. 7

Рис. 7. Изменение превышений ΔH по нивелирным профилям I и II. 1 — разность превышений по профилю I за 1986–1985 гг.; 2 — то же за 1987–1985 гг.; 3 — разность превышений по профилю II за 1986–1985 гг.; 4 — то же за VIII. 1987–1985 гг.; 5 — то же за IX. 1987–1985 гг.

нивелирование части профиля II выполнено с 24.VI по 10.VII; зарегистрировано опускание реперов профиля относительно исходного до 70 мм. Нивелирование в сентябре оставшейся более близкой к кратеру части профиля обнаружило подъем реперов почти

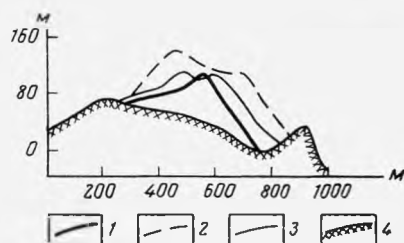


Рис. 8

Рис. 8. Высота внутрикратерного шлакового конуса Ключевского вулкана (разрез ориентирован с востока на запад). Даты определения высоты: 1 — 5.IX.1984 г.; 2 — 8.IX.1986 г.; 3 — 19.VI.1987 г.; 4 — контур вершинного кратера

на ту же величину (рис. 7, кривая 5). Различный характер смещений, зарегистрированных на двух профилях в различные временные интервалы, может быть связан с изменениями, происходящими за время наблюдений, а также с локальными особенностями участков нивелирных профилей.

За ростом шлакового конуса внутри кратера в 1986–1987 гг. продолжались наблюдения с помощью одностороннего тригонометрического нивелирования. При этом определялась высота самого крупного, видимого из г. Ключи, шлакового конуса. Высота этого внутрикратерного конуса относительно северной кромки кратера была близка: 5.IX.1984 — 108 м, 8.IX.1986 — 120 м и 19.VI.1987 — 130 м (рис. 8). Соответственно увеличивался и объем этого конуса (1,6; 4,0 и 16 млн. т).

Вулкан Безымянный

В 1986 и 1987 гг. активность вулкана оставалась достаточно высокой, однако по сравнению с 1984 и 1985 гг. извержения стали несколько слабее. В 1986 г. произошло два сходных между собой эксплозивно-эффузивных извержения, которые по характеру существенно не отличались от извержений последних лет. Для 1987 г. была характерна почти непрерывная, спокойная экструзивно-эффузивная деятельность.

После прекращения извержения 14 декабря 1985 г. вулкан находился в состоянии покоя до середины апреля 1986 г. Начало подготовки нового извержения было замечено 16 апреля, когда при облете кратера была зафиксирована деформация поверхности лавового потока, излившегося в ноябре 1985 г. Изменение формы лавового покрова имело вид куполовидного вздутия, расположенного в восточном секторе кратера, в области жерла. Такие изменения наблюдались раньше Б. В. Селезевым и др. [4]. С 16 апреля по 16 июня продолжалось развитие медленных деформаций лавового покрова, вызванных экструзивным процессом и эпизодическими обвалами «холодного» несветящегося материала с неустойчивой восточной части куполовидного вздутия, наблюдавшимися 21 апреля и 12 мая. Начиная с 17 июня интенсивность выжимания лавовой пробки заметно возросла, значительно участились каменные лавины. В верхней части купола сформировался обелиск высотой около 80 м и диаметром основания около 100 м. 23 июня обелиск разрушился и на его месте стала выжиматься порция вязкой лавы. В ночь с 24 на 25 июня, когда вулкан был закрыт облачностью, произошло слабое эксплозивное извержение. В ходе этого извержения образовался глыбово-пепловый пирокластический поток, который прошел по восточному склону вулкана расстояние около 4 км. После прекращения эксплозий 25 июня возобновилась спокойная эффузивная деятельность. Лавовый поток спустился по впадине на восточном склоне вулкана, образовавшейся во время эксплозивного извержения 1985 г. Он полностью перекрыл лавовые потоки 1985 г. 26 июня извержение закончилось.

С 27 июня по 11 августа вулкан находился в состоянии умеренной фумарольной деятельности. 12 августа наблюдалось формирование новых фумарольных выходов на склоне купола «Новый», образующем юго-восточный борт абразионной впадины. Прорывы газовых струй вызывали обвалы в средней части юго-восточного борта, с частотой до 6 обвалов в час. Хронометрирование в течение суток показало, что прорывы газовых струй, вызывавших камнепады, сопровождались землетрясениями. Выносы обвального материала были короткими и не выходили за пределы впадины. Начиная с 19 сентября на перегибе между кратером и абразионной впадиной отчетливо просматривалась деформация лавового потока в виде куполовидного вздутия. Началось медленное выдавливание лавовой пробки, сопровождавшееся редкими обвалами холодного материала купола. 15 декабря с обелиска, образовавшегося в районе жерла, стал обваливаться раскаленный материал. 16 декабря после обрушения обелиска из жерла началось выдавливание порций вязкой лавы. 17 и 18 декабря, когда вершина была закрыта облачностью, произошло слабое эксплозивное извержение, в ходе которого сформировался глыбово-пепловый пирокластический поток. Он прошел расстояние около 4,5 км и перекрыл пирокластический поток летнего извержения. Извержение завершилось излиянием лавового потока, аналогичного потоку летнего извержения. 22 декабря извержение прекратилось.

Состояние покоя продолжалось до середины января 1987 г., когда в области жерла вновь началось выдавливание лавовой пробки, перешедшее в начале марта в выжимание вязкой лавы (рис. 9). Этот процесс продолжался с усилениями и ослаблениями до конца февраля 1988 г. В зависимости от вязкости лавы происходило либо излияние короткого лавового потока, либо формирование жесткого обелиска. В результате к началу 1988 г. впадина на восточном склоне вулкана, образовавшаяся во время сильного эксплозивного извержения в июне — июле 1985 г., оказалась заполненной.

Сейсмологические наблюдения. Сейсмические явления, связанные с активностью в. Безымянный, весьма разнообразны. Образцы записи и характеристики различных типов сейсмических событий даны в рабо-



Рис. 9. Купол в. Безымянный 10 марта 1987 г. Фото А. Б. Белоусова

тах [3, 8]. В 1986–1987 гг. на в. Безымянный, как и в прежние годы, регистрировались слабые землетрясения II–III типов с глубиной очага от 0 до 3 км выше уровня моря, $K_s = 6,5$. Часть этих землетрясений, координаты которых удалось определить, показана на рис. 4. Всего на ближайшей к вулкану с/ст. Апахончич в 1986 г. было зарегистрировано 24 землетрясения II–III типа с $K \geq 5,0$, а в 1987 г. — одно. Некоторые из этих землетрясений, например 21.IV и 12.V.1988 г., сопровождались обвалами восточной части купола. Эксплозивное извержение 17–18.XII. 1986 г. сопровождалось спазматическим вулканическим дрожанием, длившимся около 2,5 ч ($A^{\max} - 1,5$ мкм; $A_{ср} - 0,6$ мкм; $T = 0,7$ с). Во втором полугодии 1987 г. (июнь, июль, ноябрь) на сейсмограммах с/ст. Апахончич нередко регистрировались каменные лавины.

Вулкан Шивелуч

Как уже отмечалось ранее [1, 7], с 1984 г. на экструзивном куполе андезитового состава, образовавшемся в 1980–1981 гг., стали наблюдаться редкие отдельные газопепловые эксплозии. В 1986 и 1987 гг. по сравнению с 1984 и 1985 гг. характер активности вулкана существенно не изменился. Большую часть времени купол находился в состоянии слабой фумарольной деятельности. Высота фумарольных струй редко достигала 100 м. На фоне постоянной активности на куполе и в атрио продолжались одиночные газопепловые эксплозии. Все эксплозии имели сходный характер и представляли собой внезапные выбросы — продувки газопирокластического материала продолжительностью до нескольких десятков секунд. В результате формировалась эруптивная колонна с поверхностью типа цветной капусты. Высота колонны во время наиболее сильных выбросов достигала 4–5 км. В нижней и средней частях колонны отмечались многочисленные молнии различной ориентировки длиной до 50 м. У основания эруптивных колонн иногда возникали базисные пирокластические волны, которые распространялись радиально на расстояние до 300 м. Выпадение больших количеств тефры на склоны купола порождало многочисленные небольшие лавины горячего

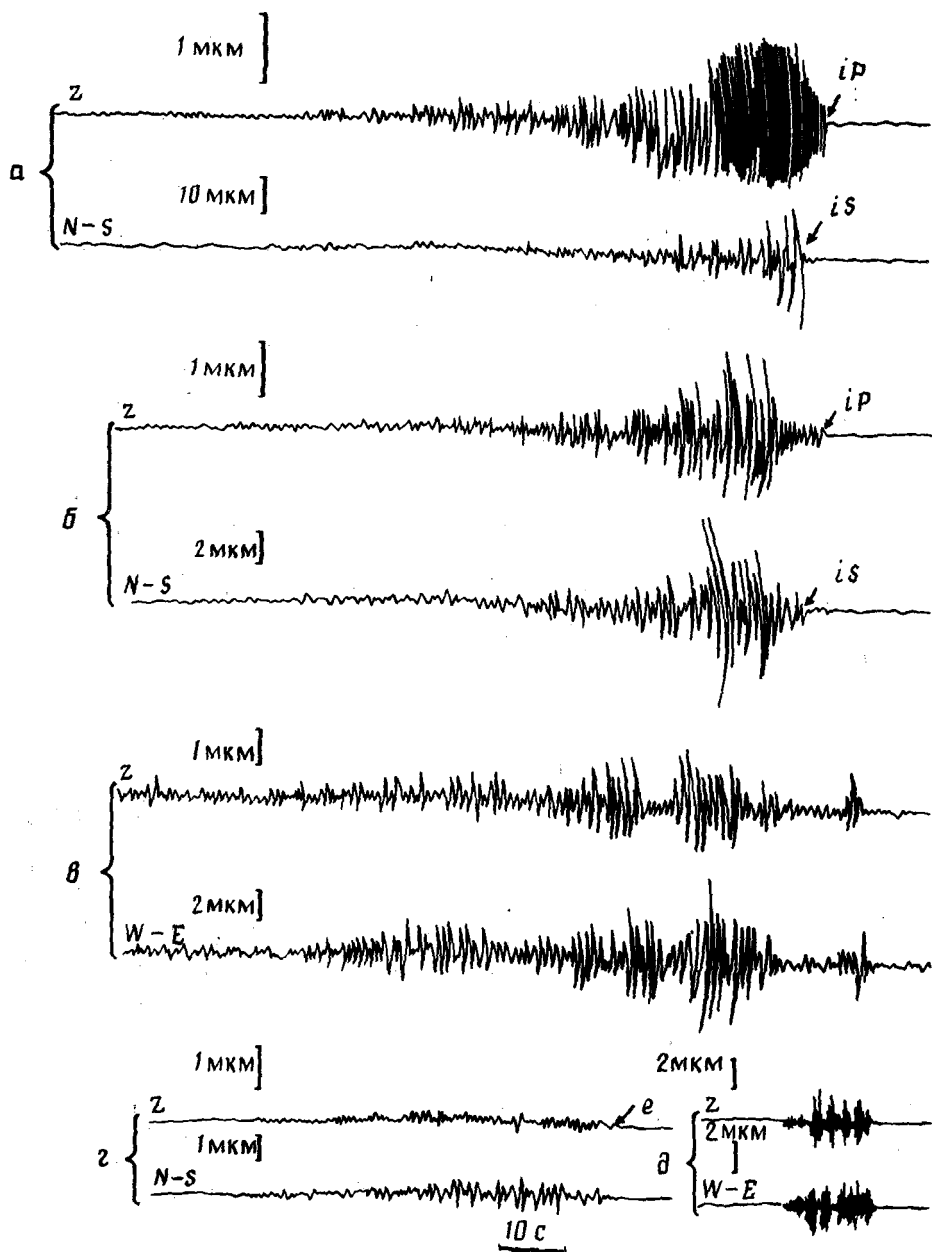


Рис. 10. Образцы записи землетрясений из района в. Шивелуч на сейсмостанции Байдарной (БДР): а — землетрясения I типа; б — землетрясения II (III) типа; в — спазматическое вулканическое дрожание, сопровождающее выбросы на куполе; г — низкочастотные сейсмические события; д — высокочастотные сейсмические события

обломочного материала, которые обычно не выходили за пределы агломератовой мантии купола. Свечения выброшенного материала не наблюдалось.

В 1986 и особенно 1987 г. количество эксплозий увеличилось до 5–7 в месяц. Параллельно с этим увеличением эруптивные центры постепенно локализовались. Так, если в 1984 и 1985 гг. в результате каждого взрыва на куполе обычно образовывалась новая воронка диаметром до 18–48 м [1], то в 1986–1987 гг. на вершине купола обособились

три крупные воронки, которые стали основными центрами взрывной активности. Подавляющее большинство взрывов происходило на вершине купола и только отдельные — в атрио.

Продукты взрывов представлены раздробленным материалом различной размерности (от блоков диаметром до 0,5 м до тонкого пепла). Оскольчатая морфология частиц показывает, что дроблению подвергался твердый, уже закристаллизованный материал купола.

Сейсмическая активность. Слежение за сейсмическим режимом вулкана Шивелуч ведется с помощью радиотелеметрических сейсмических станций (ртс) Байдарный (БДР, открыта в 1980 г.) и Купол (КПЛ, открыта в 1986 г.), расположенных соответственно в 8,5 и 3,5 км от взрывного купола. Сведения о сейсмичности вулкана за 1980—1985 гг.

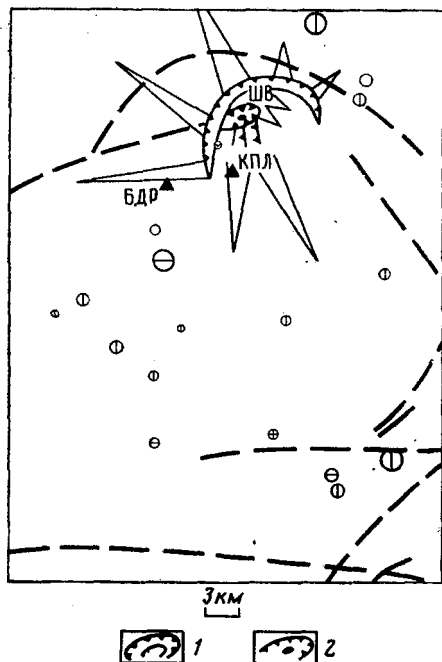


Рис. 11. Карта эпицентров землетрясений в районе в. Шивелуч за 1986—1987 гг. 1 — древняя кальдера в. Шивелуч; 2 — молодой купол вулкана. Остальные условные обозначения см. на рис. 4

приведены в отчете [3]. Поскольку сейсмические станции работают вблизи в. Шивелуч сравнительно недавно, детальные сведения о землетрясениях и их связи с состоянием активного купола только начинают накапливаться. Ниже приводятся характеристики регистрируемых на вулкане сейсмических событий, которые будут уточняться по мере поступления новых данных.

Землетрясения в районе в. Шивелуч по характеру записи можно разделить на следующие основные типы: 1) тектонические и подобные им вулканические землетрясения с глубиной очага более 5 км, происходящие в области радиусом ~ 20 км от кратера ($S-P < 5,0$ с на ртс БДР), генерирующие относительно высокочастотные (частота f более 2 Гц) колебания с импульсными первыми вступлениями; эти землетрясения соответствуют I типу вулканических землетрясений по классификации П. И. Токарева [5]; 2) неглубокие вулканические землетрясения, локализованные на глубинах 0—3 км и менее под вулканом, с более длинными периодами коле-

баний, нечеткими вступлениями объемных волн и интенсивными поверхностными волнами (II—III тип, по П. И. Токареву); 3) поверхностные события, связанные с лавинами, камнепадами, выбросами газа и пепла из купола; для установления природы этих землетрясений требуются более детальные наблюдения; среди этих событий различаются высокочастотные (5 Гц и более) и низкочастотные (0,5—1 Гц) серии колебаний, последние образуют сложную волновую картину, при которой трудно выделить вступления волн (IV тип землетрясений, по П. И. Токареву); 4) вулканическое дрожание (в. д.) — низкочастотные колебания продолжительностью от нескольких минут до нескольких часов, сопровождающие выбросы-продувки газопирокластического материала; нередко, как и на в. Безымянный [8], в. д. на в. Шивелуч включает в себя следующие друг за другом землетрясения II—III типов, образуя спазматическое в. д. с резко меняющейся амплитудой колебаний.

Образцы записи перечисленных выше типов землетрясений на ртс БДР приведены на рис. 10.

Основные сведения о сейсмической активности вулкана Шивелуч в 1986—1987 гг. (по данным с/ст. Байдарный)

Год, месяц		Сейсмическая активность										Состояние вулкана по данным визуальных наблюдений	
		землетрясения I типа ($S-P < 5,0$ с)		землетрясения II—III типов ($S-P < 5,0$)		высокочастотные сей- смические события ($f \geq 2,5$ Гц)		низкочастотные сейсмические со- бытия ($0,5 \leq f < 2,5$ Гц)		вулканическое дрожание с $A_{\max} \geq 0,2$ мкм			
		N	K_S^{\max}	N	K_S^{\max}	N	A^{\max} , мкм	N	A^{\max} , мкм	N	суммарная про- должительность Δt , ч		
1986	I	2	6,7	—	—	—	—	—	—	—	—	28 марта выпадение пепла на вулкане 1 июля пепловый выброс; $H = 0,6$ км 13 и 26 августа пепловые выбросы, $H = 2,0$ км 1 сентября пепловый выброс; $H = 0,6$ км	
	II	1	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—		
	III	—	—	1	5,5	—	—	4	2,1	1	1,1		
	IV	1	7,0	7	4,8	—	—	7	0,6	—	—		
	V	14	8,4	12	5,9	3,7	1,8	33	1,7	5	4,7		
	VI	8	5,6	28	6,8	20	0,5	94	1,0	1	2,0		
	VII	2	4,8	2	5,0	1	0,5	21	0,7	2	1,2		
	VIII	—	—	49	5,2	—	—	16	1,7	5	4,2		
	IX	1	5,9	2	5,0	—	—	6	0,4	3	1,6		
	X	1	7,1	—	—	—	—	4	0,4	3	1,3		
	XI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	XII	—	—	1	5,0	—	—	4	0,4	—	—		
1987	I	3	5,6	13	7,5	—	—	8	0,5	4	2,0	2,5	12 января пепловый выброс; $H = 3,0$ км 8 марта выпадение пепла на вулкане 17, 22 и 26 мая пепловые выбросы 15, 16 и 19 июля пепловые выбросы; $H = 5,0$ км 12 августа выпадение пепла 9 сентября » » 11 октября » » 9 ноября » » 6 декабря » »
	II	4	4,9	9	5,7	—	—	4	1,0	2	0,9	0,6	
	III	1	4,0	6	5,2	—	—	5	0,2	3	0,3	0,4	
	IV	1	4,6	8	6,1	—	—	15	1,5	4	2,2	0,5	
	V	—	—	6	5,8	15	1,2	11	0,7	4	3,1	0,5	
	VI	1	6,7	3	5,8	2	0,5	23	1,6	2	1,4	0,4	
	VII	2	5,0	7	5,1	—	—	22	0,6	5	1,2	1,1	
	VIII	—	—	2	5,0	4	0,6	1	0,2	—	—	—	
	IX	1	7,1	1	5,6	1	0,3	5	0,4	4	2,5	2,2	
	X	2	7,0	1	4,4	—	—	6	0,5	7	6,4	1,7	
	XI	—	—	—	—	—	—	1	0,2	2	3,1	0,9	
	XII	1	5,4	5	5,1	—	—	1	0,3	2	0,5	1,0	

Основные сведения о сейсмической активности в. Шивелуч за 1986—1987 гг. даны в таблице. В нее включены все сейсмические события, зарегистрированные ртс БДР с $A^{\max} \geq 0,2$ мкм.

Карта эпицентров землетрясений, координаты которых удалось определить, приведены на рис. 11. Как и в прежние годы [3], землетрясения 6—8-го энергетических классов на глубинах 0—20 км происходили в области радиусом 15—20 км вокруг кратера вулкана, преимущественно к югу и востоку от него. Одновременно очаги большинства относительно слабых землетрясений I—III типов (как правило, с $K_b < 7,5$) располагались, судя по преобладающей величине $S-P < 0,5—2,5$ с, под активным куполом либо не дальше 5—10 км от него.

По данным за предыдущие годы [3], максимальная сейсмическая активность на в. Шивелуч наблюдалась в первом полугодии 1981 г., когда средняя скорость роста экструзивного купола была еще достаточно большой ($\sim 0,8$ м/сут). После прекращения роста купола с конца 1981 г. уровень сейсмичности на вулкане упал и вновь увеличился в 1984 г., одновременно с развитием эруптивной деятельности на куполе. Как видно в таблице, количество сейсмических событий всех типов, за исключением в. д. в 1986 г., было несколько большим, чем в 1987 г. Максимумы числа землетрясений I—III типов, а также высокочастотных и низкочастотных землетрясений приходились на весенне-летние месяцы, что связано, вероятно, со специфическими гидрогеологическими условиями в районе купола [7]. Суммарная сейсмическая энергия землетрясений II—III типов, а также число случаев регистрации и суммарная продолжительность непрерывно-спазматического в. д., обычно сопровождавшего эксплозивную деятельность купола, в 1987 г. были больше, чем в 1986 г. (см. таблицу). Это подтверждается и визуальными наблюдениями. В целом в 1987 г. количество взрывов на в. Шивелуч по сравнению с 1984 г. увеличилось почти на порядок (от 4—5 событий в 1984 г. до 35—40 в 1987 г.).

Авторы благодарят сотрудников Камчатской вулканостанции и Опытнo-методической сейсмической партии Института вулканологии, принимавших участие в получении и обработке материалов, положенных в основу настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигало В. Н. Рост купола в кратере вулкана Шивелуч в 1980—1981 гг. по фотограмметрическим данным//Вулканология и сейсмология. 1984. № 2. С. 104—110.
2. Жаринов Н. А., Жданова Е. Ю., Белоусов А. Б. и др. Активность Северной группы вулканов Камчатки в 1985 г.//Вулканология и сейсмология. 1988. № 3. С. 3—12.
3. Разработка и опробование системы прогноза вулканических извержений на Камчатке: Отчет о НИР (заключит.)//ВНТИЦентр. ГР 02860046458. Инв. № 528. Петропавловск-Камчатский, 1986. Гл. 3, 4. С. 63—227.
4. Селезнев Б. В., Двигало В. Н., Гусев Н. А. Развитие вулкана Безымянный по данным стереофотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемок//Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 52—64.
5. Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 118 с.
6. Федотов С. А., Жаринов Н. А., Горельчик В. И. Деформации и землетрясения Ключевского вулкана, модель его деятельности//Вулканология и сейсмология. 1988. № 2. С. 3—42.
7. Федотов С. А., Иванов Б. В., Двигало В. Н. и др. Деятельность вулканов Камчатки Курильских островов в 1984 г.//Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 3—23.
8. Чубарова О. С., Горельчик В. И., Гарбузова В. Т. Сейсмический режим вулкана Безымянный в 1975—1979 гг.//Вулканология и сейсмология. 1983. № 3. С. 58—69.
9. Gorelchik V. I., Zharinov N. A. Mechanism of Klyuchevskoy flank eruptions of 1974, 1980, 1983 and 1987 as shown by seismological and geodetical data//Proceedings of the Kagoshima Inter. Conference on Volcanoes. 1988. P. 75—78.